

CONNECTIVITE URBAINE

Rapport technique sur l'expérimentation de petites antennes à Annecy

pour favoriser l'accès au très haut débit mobile

Avril 2017

Table des matières

1. Introduction.....	3
2. Description de l'expérimentation.....	4
2.1. Localisation.....	4
2.2. Antennes utilisées	5
3. Mesures réalisées.....	8
3.1. Mesures en mobilité sur les débits montants et les puissances d'émission des téléphones portables.....	8
3.2. Mesures d'exposition sous accréditation en des points fixes	9
4. Conclusion	15

1. Introduction

Les réseaux mobiles actuels sont essentiellement constitués d'équipements radio à longue portée déployés pour assurer la couverture dans toutes les configurations de terrain, qu'il s'agisse de zones urbaines denses ou de territoires ruraux. A l'avenir, cette couverture sera complétée par des petites antennes (cf. Figure 1) de moyenne portée pour améliorer la couverture et la connectivité pour tous dans les zones les plus denses, à l'heure où la population utilise de plus en plus les réseaux mobiles.

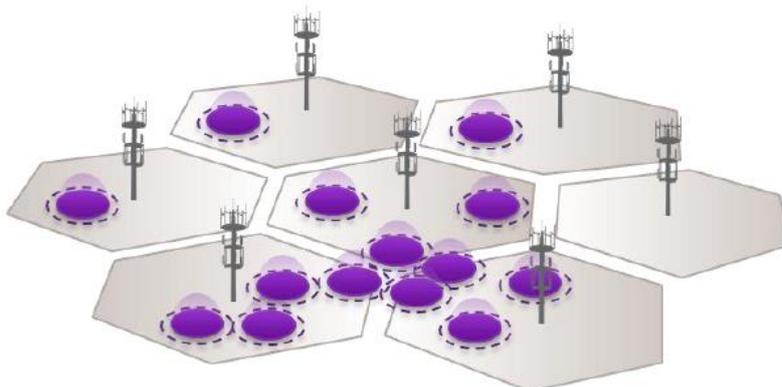


Figure 1 : illustration d'un réseau hétérogène composé d'antennes macro et de petites antennes

Des expérimentations sont conduites pour tester en grandeur nature les modalités d'un déploiement de petites antennes. L'ANFR est associée à ces expérimentations et travaille avec l'ensemble des acteurs pour caractériser ces réseaux en termes d'exposition et de performance par rapport à la situation actuelle.

L'étude prévoit des expérimentations avec les différents opérateurs pour tester le déploiement de petites antennes à faible puissance installées sur du mobilier urbain. Différentes configurations seront testées notamment en termes de mobilier urbain utilisé, de technologies et de bandes de fréquences utilisées. Ces expérimentations visent à mesurer l'apport de ces petites antennes pour la connectivité de la population. Concrètement, les résultats permettront de vérifier si une amélioration de la couverture 4G et des débits utilisés a été constatée et dans quelle proportion. Les expérimentations ont également pour objectif de mesurer et, le cas échéant, de modéliser l'exposition du public pour mieux évaluer l'effet de ces petites antennes dans leur voisinage.

Ce rapport porte sur la première expérimentation menée dans la ville d'Annecy début 2017, sur le réseau 4G de l'opérateur Orange dans la bande de fréquence 2 600 MHz, après l'installation temporaire de quatre sites intégrés dans des abribus et du mobilier urbain pour l'information JCDecaux. Le chapitre 2 présente la zone d'expérimentation et le type d'antennes utilisées. Le chapitre 3 décrit les résultats obtenus sur cette première expérimentation.

2. Description de l'expérimentation

2.1. Localisation

L'opérateur Orange a retenu une zone d'expérimentation à proximité des berges du lac d'Annecy (cf. Figure 2). L'expérimentation a duré un mois, du 11 janvier 2017 au 13 février 2017.



Figure 2 : zone d'expérimentation

Les petites antennes fonctionnaient dans la bande de fréquence 2 600 MHz et ont été implantées dans quatre sites (cf. Figure 3 où elles sont matérialisées par le symbole ★) de mobilier urbain JCDecaux pour compléter le réseau actuel d'antennes longue portée (matérialisées par les symboles □ et □) et ()

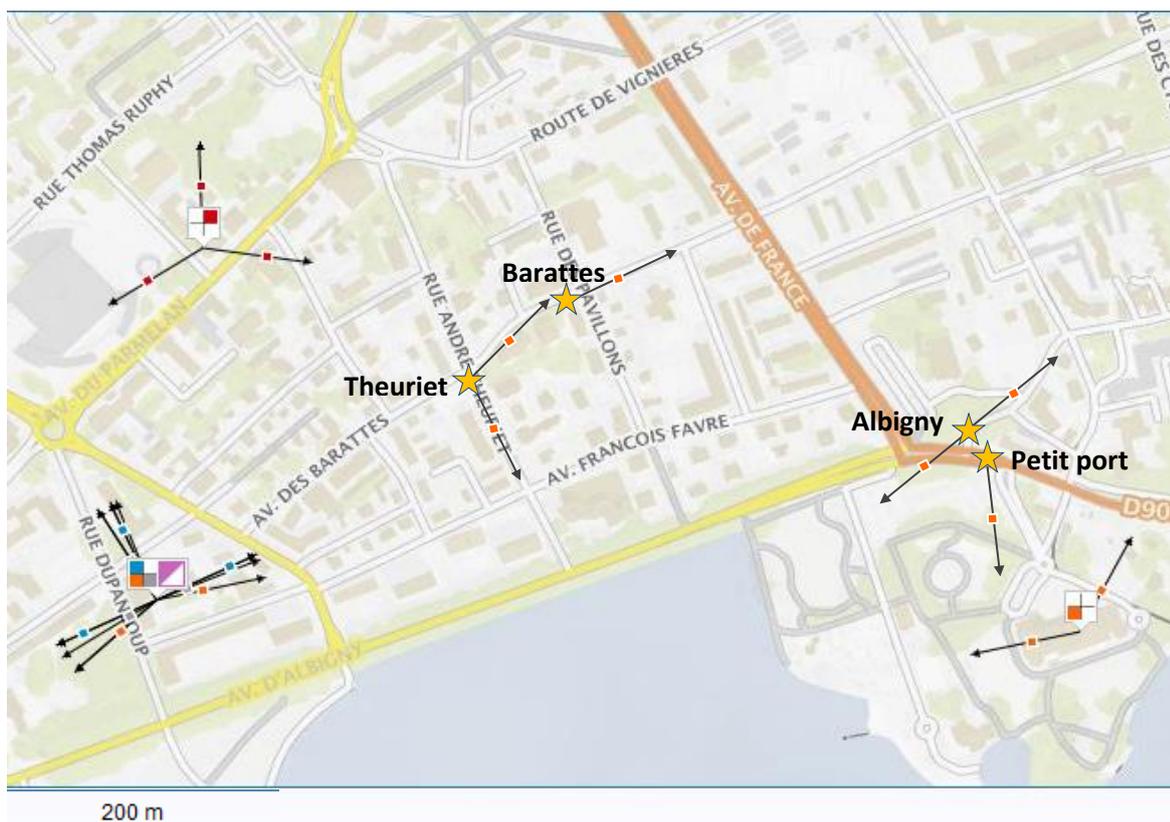


Figure 3 : localisation des petites antennes

L'insertion des petites antennes dans le mobilier urbain permet de déployer l'équipement radio très rapidement, sans travaux complexes, et en minimisant l'impact visuel de ces équipements.

Dans le cadre de l'expérimentation d'Annecy, deux types de mobilier urbain JCDecaux ont été utilisés (cf. Figure 4): l'abribus et le panneau d'affichage MUPI (Mobilier Urbain Pour l'Information).

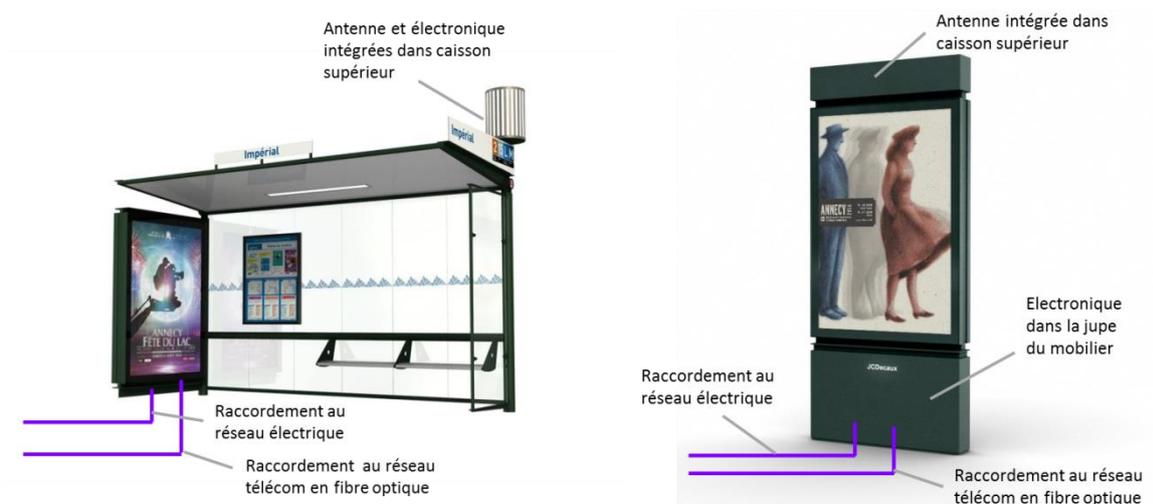


Figure 4 : intégration des petites antennes au mobilier urbain JCDecaux

2.2. Antennes utilisées

Pour couvrir le territoire, les réseaux de téléphonie mobile sont constitués d'un maillage d'antennes-relais qui, chacune, desservent une zone appelée « cellule ».

Ces antennes-relais diffèrent par leur *puissance* (puissance injectée) et leur *diagramme de rayonnement*, qui décrit la façon dont cette puissance est diffusée autour de l'antenne. C'est comparable à la manière dont on peut décrire un luminaire par la puissance de l'ampoule et la forme du réflecteur (qui procure un éclairage diffus ou directionnel). Le *gain* d'une antenne, quant à lui, décrit la capacité de l'antenne à focaliser la puissance : l'ouverture horizontale et l'ouverture verticale permettent ainsi d'indiquer la finesse du faisceau, comme on pourrait le faire pour un spot lumineux.

Les antennes-relais couvrent ainsi des cellules plus ou moins grandes, selon leurs caractéristiques. Plusieurs classes d'antennes-relais ont été standardisées par les organismes internationaux¹ :

- **Antennes longue portée** : puissances de plus de 6,3 W ; cette classe d'antennes est utilisée pour le réseau usuel des opérateurs ; ces antennes couvrent des cellules d'assez grande taille (quelques centaines de mètres en milieu urbain à plusieurs kilomètres en milieu rural) qui sont également qualifiée de « macro-cellules »;

¹ ETSI TS 125.104 (3GPP TS 25.104) et ETSI TS 136.104 (3GPP TS 36.104)

- **Antennes moyenne portée** : puissances comprises entre 0,25 W et 6,3 W par port ; cette classe d'antenne correspond à des émetteurs destinés à être utilisés à l'extérieur, sur du mobilier urbain par exemple ; elles produisent des « micro-cellules », dont la taille varie de quelques dizaines à quelques centaines de mètres ;
- **Antennes couverture locale** : puissances comprises entre 0,1 W et 0,25 W ; cette classe d'antennes est employée pour améliorer la couverture à l'intérieur des bâtiments, par exemple dans les centres commerciaux, les bureaux ou les parkings ;
- **Antennes couverture résidentielle** : puissances inférieures à 0,1 W ; cette classe correspond aux dispositifs utilisés chez les particuliers (« femtocells »), avec une couverture comparable à celle des box WiFi des opérateurs fixes.

Les antennes longue portée constituent l'essentiel des réseaux actuels. Elles sont en général installées sur des points hauts, comme des pylônes ou des toits d'immeubles en milieu urbain. Ces antennes sont directives. Un site longue portée porte ainsi en général trois antennes, orientées dans trois directions (cf. Figure 5). Pour focaliser leur puissance, ces antennes affichent des gains de l'ordre de 50 (soit, selon les unités utilisées par les installateurs, 17 dBi). Les puissances maximales typiques de ces antennes varient entre 40 W et 80 W, selon les technologies. Pour chaque faisceau, plusieurs antennes peuvent être implantées pour assurer différents services dans différentes bandes de fréquences : 2G dans les bandes 900 MHz ou 1 800 MHz, 3G dans les bandes 900 MHz ou 2 100 MHz et 4G dans les bandes 700 MHz, 800 MHz, 1 800 MHz ou 2 600 MHz.

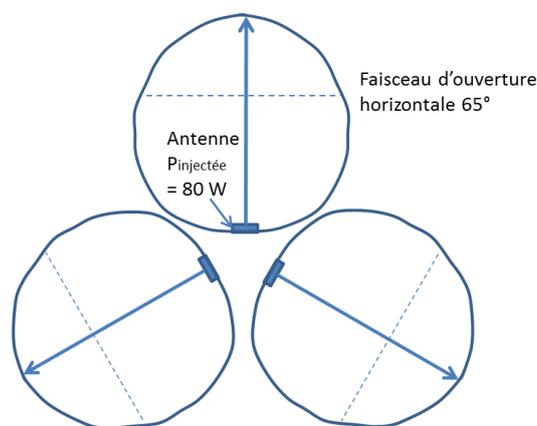


Figure 5 : vue de dessus d'un site comportant trois antennes macros

Autour d'une antenne, il est obligatoire de respecter un périmètre de sécurité, zone qui doit rester inaccessible au public pour éviter tout dépassement des seuils d'exposition. Ce périmètre est ajusté selon le type d'antenne mais, dans la plupart des cas d'antennes longues portées, il est de 4 à 10 mètres en face de l'antenne, jusqu'à 3,5 mètres sur ses côtés et jusqu'à 0,5 m sous l'antenne.

L'architecture actuelle des réseaux mobiles, principalement constituée d'antennes longue portée, sera progressivement complétée par des antennes plus petites, de la classe des antennes moyenne portée, pour écouler de plus en plus de trafic, du fait des nouveaux usages des citoyens. Les antennes longue portée des réseaux 2G, 3G et 4G resteront néanmoins indispensables pour assurer couverture et capacité sur l'ensemble d'un territoire.

C'est un complément de ce type qui a été testé pour l'expérimentation d'Annecy, en technologie 4G. Les antennes utilisées à Annecy sont des antennes de moyenne portée. Leur portée est donc, selon les réglages, de quelques dizaines de mètres à quelques centaines de mètres. Ces antennes sont conçues pour être moins directives que les antennes longue portée : leurs faisceaux sont plus larges, avec, par conséquent, des gains plus faibles, de l'ordre de 6 (8 dBi). Les puissances maximales typiques de ces appareils sont d'environ 4 W. Un site de moyenne portée peut être constitué de deux antennes orientées dans deux directions opposées, par exemple pour couvrir une rue (cf. Figure 6). Dans chaque direction, plusieurs antennes pourraient coexister pour assurer différents services (2G, 3G, 4G). Le périmètre de sécurité de ce type d'antenne est beaucoup plus réduit que pour les antennes macros : de l'ordre de quelques dizaines de centimètres autour des antennes.

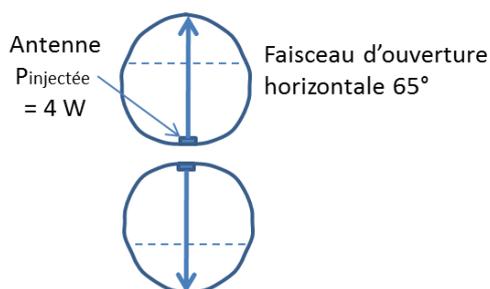


Figure 6 : vue de dessus d'un site micro contenant deux antennes micros

A titre de comparaison, voici les caractéristiques techniques utilisées, d'une part, pour une petite antenne du même type que celle déployée dans le cadre de l'expérimentation d'Annecy et, d'autre part, pour une antenne longue portée utilisée pour diffuser la 4G :

	Antenne longue portée	Antenne moyenne portée
Puissance maximale	80 W	4 W
Gain d'antenne	50 (17 dBi)	6 (8 dBi)
Angle d'ouverture horizontal	60°- 90 °	60° - 70°
Angle d'ouverture vertical	~5 à 10 °	35° à 70°

3. Mesures réalisées

3.1. Mesures en mobilité sur les débits montants et les puissances d'émission des téléphones portables

Différents paramètres ont été enregistrés à l'aide de mobiles à trace sur des parcours couvrant la zone de l'expérimentation. Les parcours ont été réalisés à l'identique deux fois, une fois lorsque les petites antennes étaient en service et une fois lorsqu'elles ne l'étaient pas.

Les parcours ont couvert les principaux trajets possibles pour un piéton dans les zones couvrant 100 mètres autour de chaque petite antenne de la zone d'expérimentation (cf. Figure 7).

Le mobile à trace permet d'enregistrer différents paramètres dont notamment les coordonnées GPS, la puissance émise par le mobile, la puissance reçue par le mobile et les débits constatés. Le mobile à trace a été configuré afin d'envoyer des fichiers successifs de 100 Mo vers le réseau (« upload »).

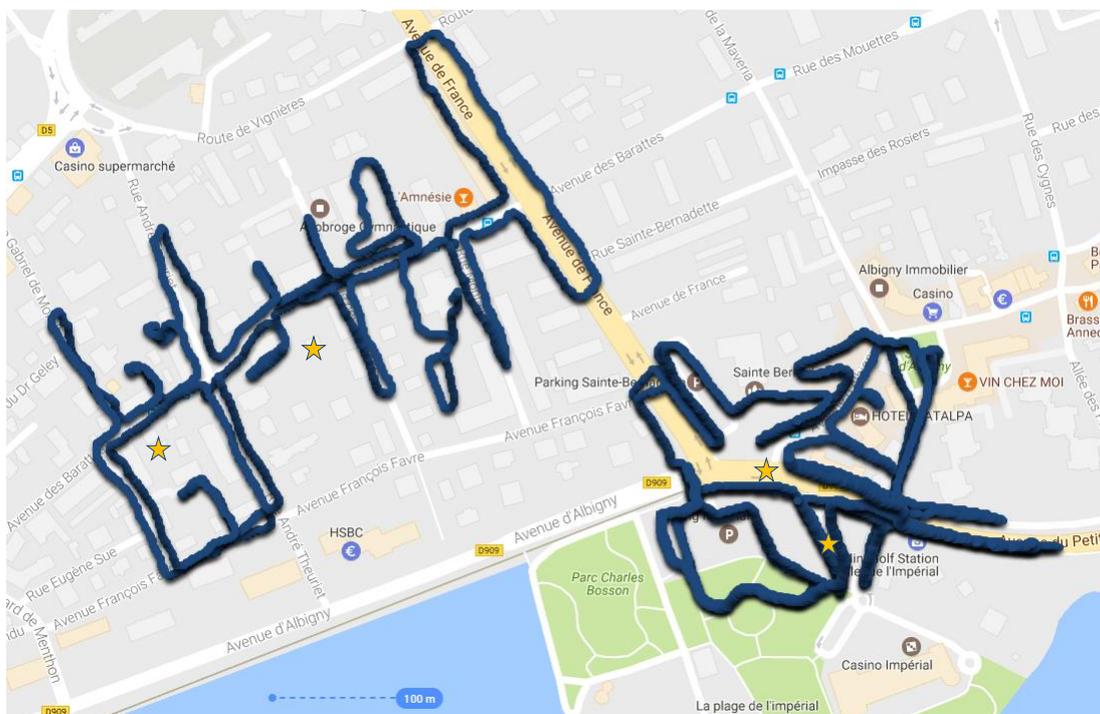


Figure 7 : parcours réalisés autour des sites avec le mobile à trace permettant d'enregistrer différents paramètres radio

L'analyse préliminaire de ces mesures a montré que la mise en service des petites antennes permet d'améliorer les débits dans le sens montant en moyenne sur les parcours jusqu'à un facteur cinq selon la couverture initiale existante. Les débits mesurés dans le sens montant ont ainsi atteint jusqu'à 30 Mbits/s en moyenne sur les parcours et jusqu'à 40 Mbits/s en valeur maximale. En outre, les puissances d'émission du mobile sont fortement atténuées (d'un facteur deux à cinq en moyenne selon la configuration) lorsque les petites antennes sont activées par rapport au seul réseau longue portée, ce qui diminue considérablement l'exposition aux ondes émises par le mobile.

Enfin, le débit offert en téléchargement peut augmenter jusqu'à un facteur 6 en présence de petites antennes.

3.2. Mesures d'exposition sous accréditation en des points fixes

Des essais ont été réalisés sous accréditation Cofrac selon le protocole ANFR DR15-3.1 de l'ANFR publié au Journal Officiel.

La démarche a consisté en une analyse préalable du voisinage du site en réalisant des relevés intermédiaires à une hauteur de 1,5 m du sol suivie d'une mesure précise dans les différents points retenus.

Les mesures sous accréditation ont été réalisées une première fois lorsque les petites antennes étaient en service puis une seconde fois, aux mêmes points, lorsque les petites antennes avaient été éteintes.

Pour chaque site, les petites antennes ont été sollicitées à l'aide d'un mobile affichant une vidéo de façon à assurer du trafic. Le mobile était en connexion forcée sur la petite antenne.

Dans un rayon de 100 mètres autour des sites, le niveau d'exposition moyen mesuré lorsque les petites antennes sont actives varie entre 0,2 V/m et 0,3 V/m (cf. Figure 8). Lorsque les petites antennes sont éteintes, ce niveau moyen dans la même zone varie entre 0,1 V/m et 0,2 V/m.

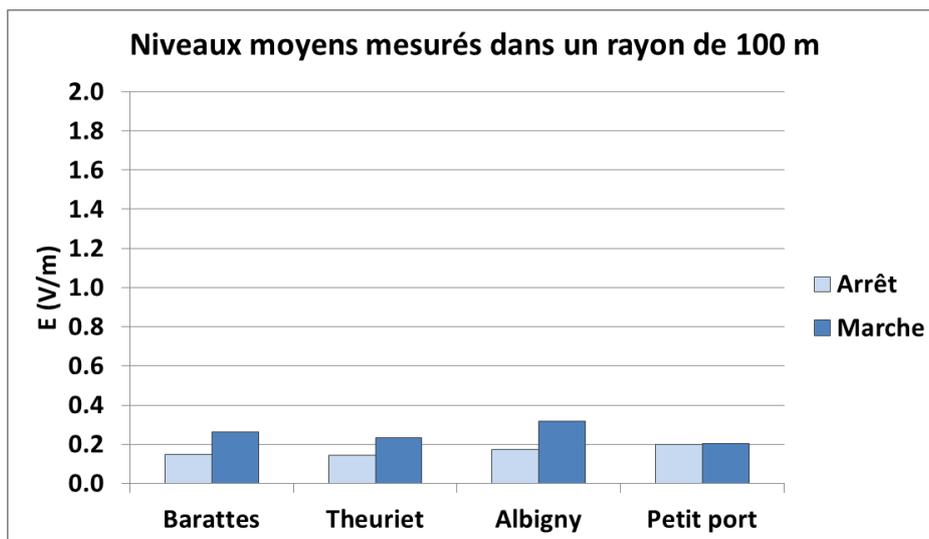


Figure 8 : niveau d'exposition moyen mesuré dans des zones de 100 mètres autour des sites quand les petites antennes sont arrêtées ou en marche

Ces mesures ont également montré qu'à proximité immédiate des petites antennes (à moins de deux mètres), le niveau d'exposition maximal mesuré est de l'ordre de 1 V/m (cf. Figure 9) ; il apparaît donc comparable à celui que peut créer le réseau actuel longue portée (80 % des niveaux d'exposition mesurés en milieu urbain en 2015 en France sont inférieurs à 1 V/m).

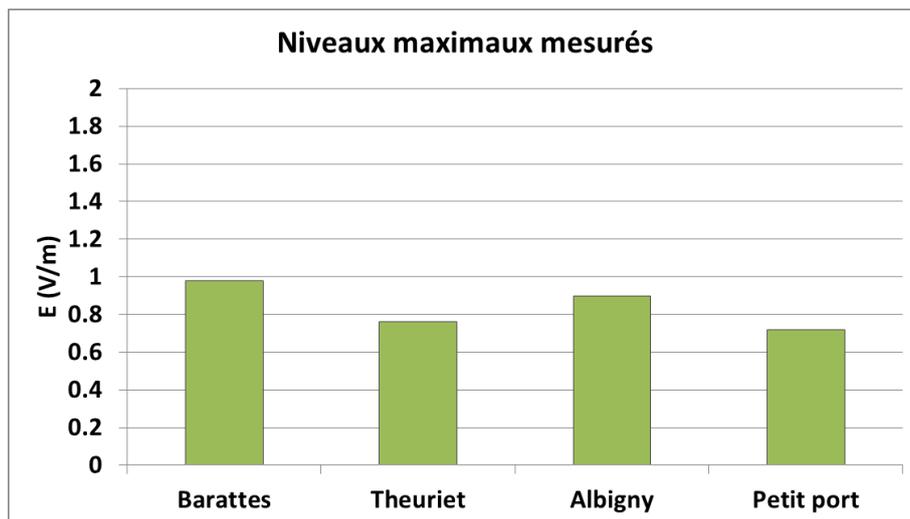


Figure 9 : niveaux maximaux mesurés à proximité des sites lorsque les petites antennes sont en marche

Ces niveaux apparaissent très faibles par rapport à la valeur limite réglementaire de 61 V/m dans la bande de fréquences des petites antennes.

Détails des résultats de mesures sur le site Theuriet – Figure 10

Sur ce site, lorsque les petites antennes sont éteintes, le niveau d'exposition varie entre 0,05 V/m et 0,5 V/m avec un niveau moyen de 0,14 V/m. Lorsque les petites antennes sont en service, il varie entre 0,1 V/m et 0,8 V/m avec un niveau moyen de 0,23 V/m.

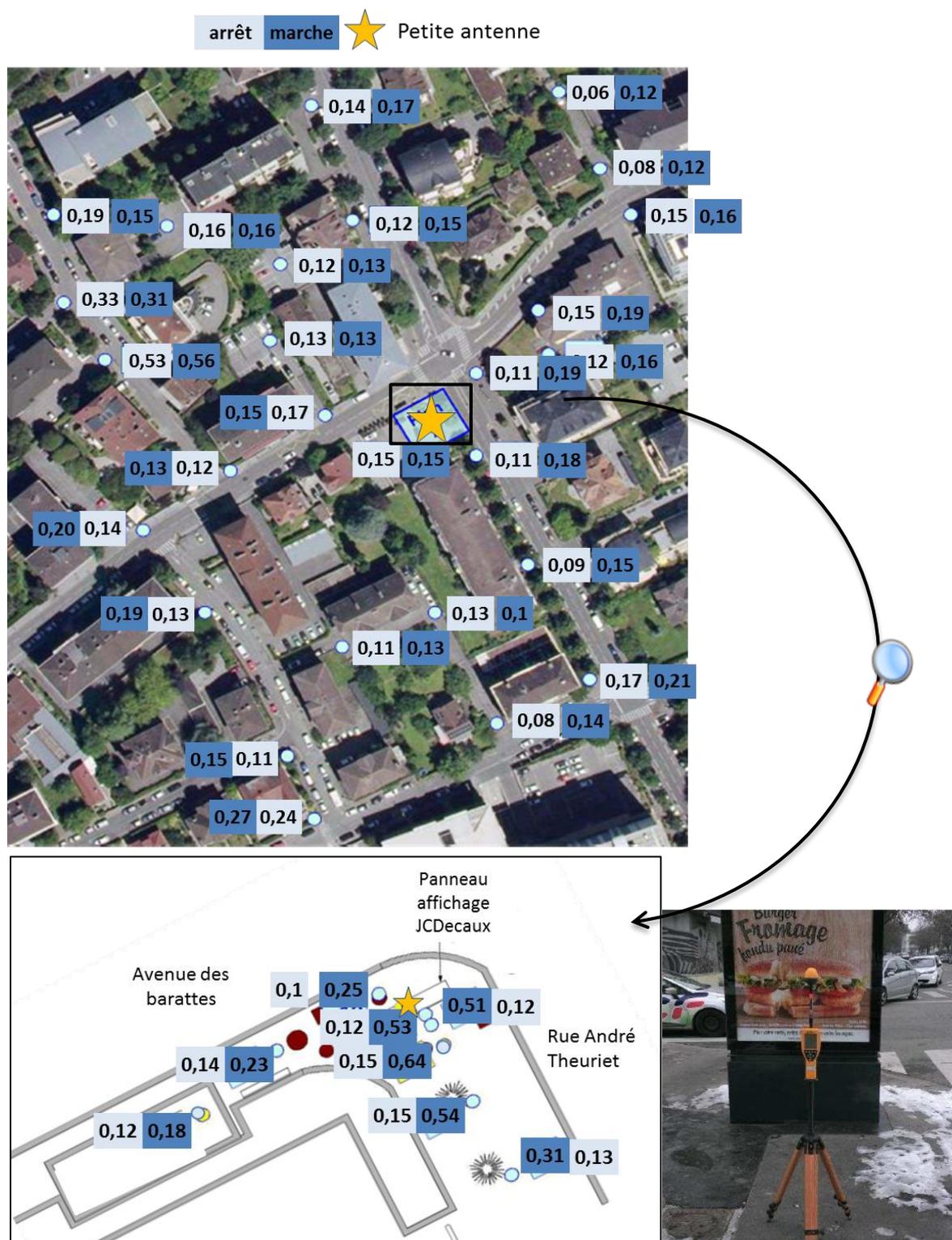


Figure 10 : cartes des résultats de mesures autour du site Theuriet

Détails des résultats de mesures sur le site Barattes – Figure 11

Sur ce site, lorsque les petites antennes sont éteintes, le niveau d'exposition varie entre 0,1 V/m et 0,3 V/m avec un niveau moyen de 0,15 V/m. Lorsque les petites antennes sont en service, il varie entre 0,1 V/m et 1 V/m avec un niveau moyen de 0,26 V/m.

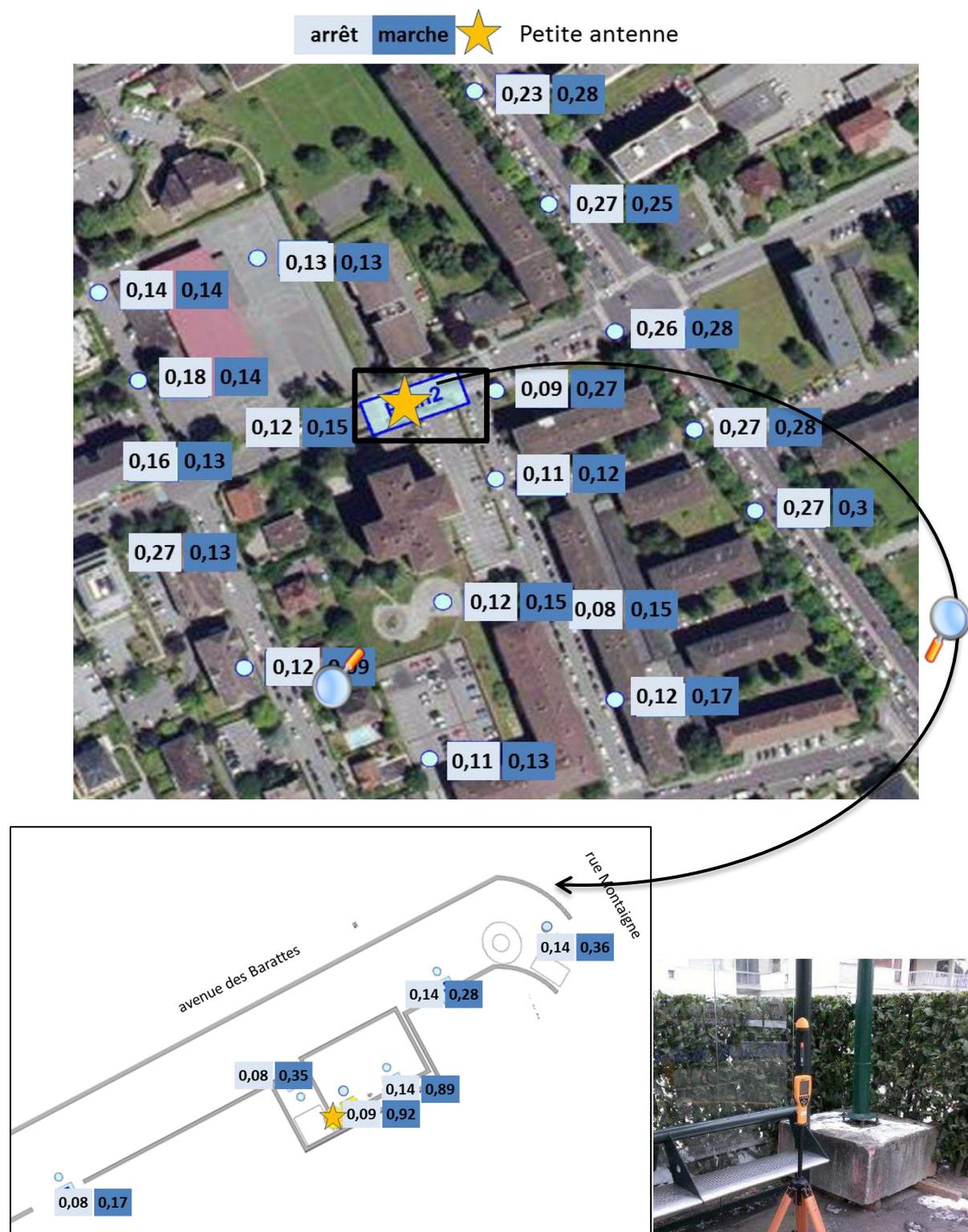


Figure 11 : cartes des résultats de mesures autour du site Barattes

Détails des résultats de mesures sur le site Albigny – Figure 12

Sur ce site, lorsque les petites antennes sont éteintes, le niveau d'exposition varie entre 0,1 V/m et 0,3 V/m avec un niveau moyen de 0,17 V/m. Lorsque les petites antennes sont en service, il varie entre 0,1 V/m et 0,9 V/m avec un niveau moyen de 0,32 V/m.

arrêt **marche** ★ Petite antenne

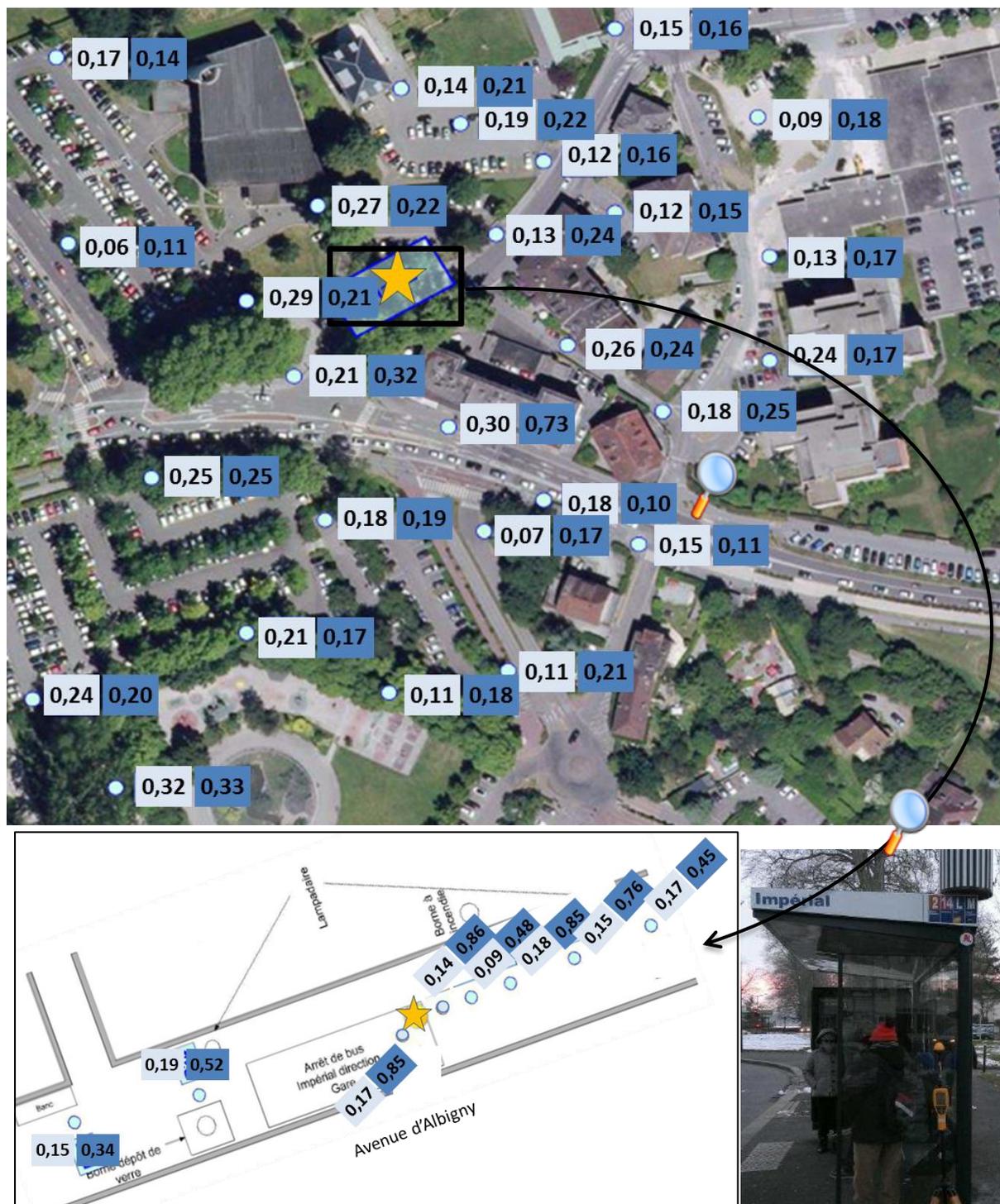


Figure 12 : cartes des résultats de mesures autour du site Albigny

Site Petit Port – Figure 13

Sur ce site, lorsque les petites antennes sont éteintes, le niveau d'exposition varie entre 0,05 V/m et 0,3 V/m avec un niveau moyen de 0,2 V/m. Lorsque les petites antennes sont en service, il varie entre 0,1 V/m et 0,7 V/m avec un niveau moyen de 0,2 V/m.

arrêt marche  Petite antenne

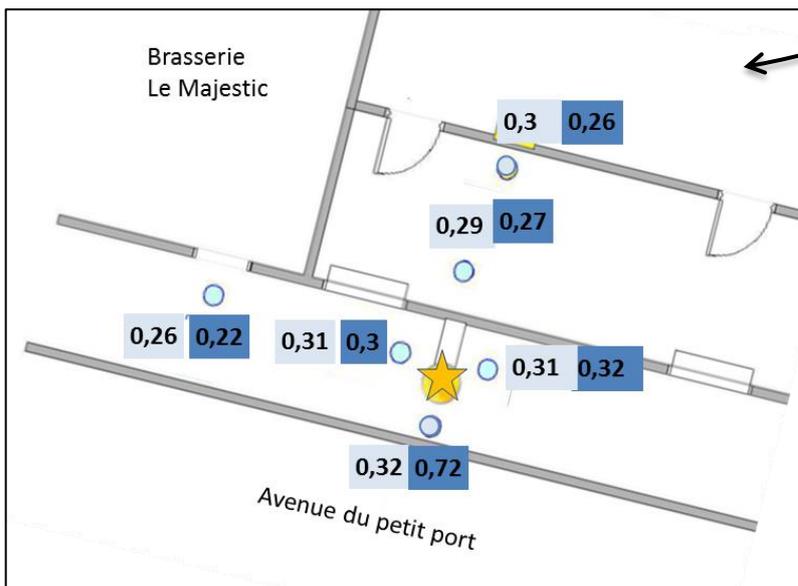
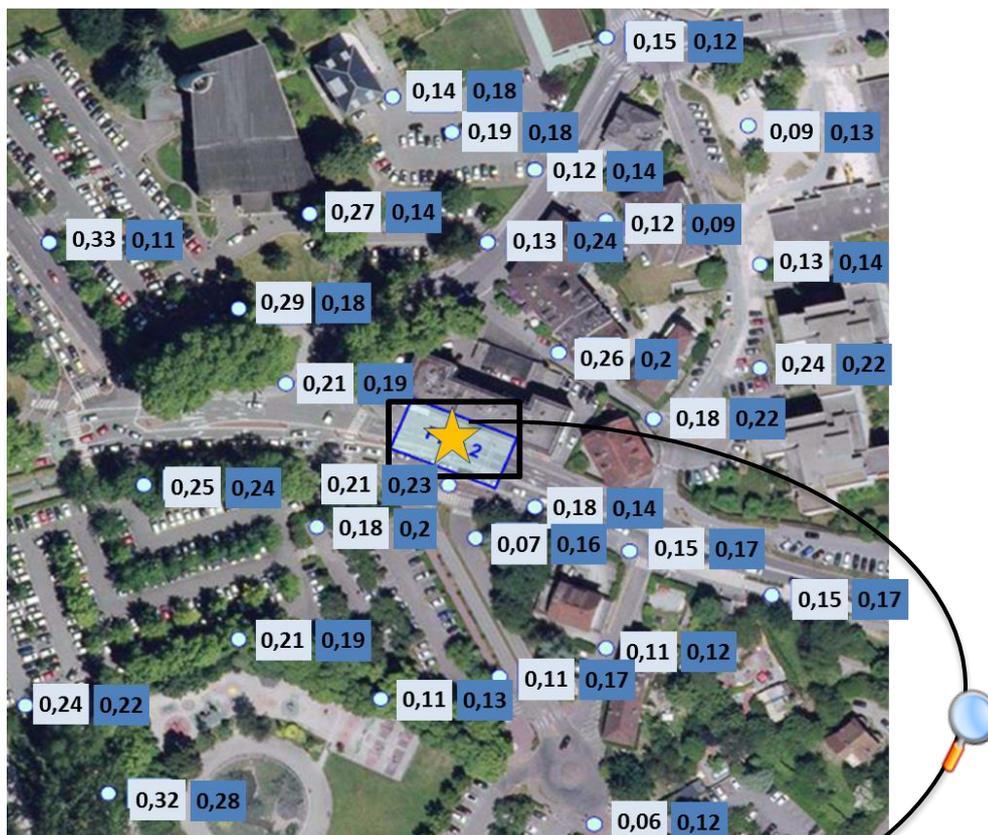


Figure 13 : cartes des résultats de mesures autour du site Petit Port

4. Conclusion

Une expérimentation a été menée à Annecy entre le 11 janvier 2017 et le 13 février 2017 pour tester le déploiement, sur une zone délimitée, de petites antennes de réseaux mobiles à faible puissance installées sur du mobilier urbain. Elle avait pour objet de tester la performance de ce nouveau réseau, qui préfigure les réseaux de demain en zone urbaine dense.

L'étude s'inscrit dans le cadre d'une réflexion générale de déploiement à grande échelle d'un réseau d'antennes à faible puissance venant compléter le réseau mobile actuel, essentiellement constitué d'antennes longue portée dites « macro ». Cette évolution permettra d'améliorer la couverture et la connectivité sur tout le territoire, à l'heure où la population utilise de plus en plus les réseaux mobiles pour communiquer, s'informer, se distraire. Il est en effet estimé que d'ici 2020, le trafic mobile en France sera multiplié par 8 à 10 environ. C'est également un enjeu pour les collectivités locales, car le raccordement du mobilier urbain en fibre optique nécessaire pour l'accueil des petites antennes ouvrira également des possibilités de nouveaux services innovants dans le contexte de la « ville intelligente ».

Cette étude a débuté dans la ville d'Annecy, sur le réseau 4G de l'opérateur Orange, par une première expérimentation, dans la bande de fréquence 2 600 MHz, sur quatre sites installés dans des abribus et du mobilier urbain pour l'information JCDecaux, à proximité du lac d'Annecy. De nombreux relevés ont été effectués, notamment pour mesurer les débits dans le sens montant (envoi de fichiers sur le réseau depuis le mobile), les niveaux de puissance reçus et transmis par les terminaux ainsi que les niveaux d'exposition aux ondes électromagnétiques dans le voisinage des petites antennes.

L'analyse des résultats a montré que le déploiement de petites antennes permet d'améliorer les débits dans le sens montant jusqu'à un facteur cinq par rapport à la couverture préexistante. Par ailleurs, le débit offert en téléchargement par ces petites antennes peut augmenter jusqu'à un facteur 6. Enfin, les puissances d'émission du mobile sont fortement atténuées (d'un facteur deux à cinq selon la configuration) sur le réseau de petites antennes par rapport au réseau longue portée, ce qui diminue l'exposition aux ondes émises par le mobile.

La mesure de l'exposition aux ondes émises par le réseau d'antennes, quant à elle, a montré que, dans un rayon de 100 mètres autour des sites, le niveau d'exposition moyen mesuré lorsque les petites antennes sont en service varie entre 0,2 V/m et 0,3 V/m. Lorsque les petites antennes sont éteintes, ce niveau moyen dans la même zone se situait entre 0,1 V/m et 0,2 V/m. En outre, localement à proximité immédiate des petites antennes (à moins de deux mètres), le niveau d'exposition apparaît du même ordre de grandeur que celui que peut créer le réseau actuel longue portée (de l'ordre de 1 V/m).

Des expérimentations avec des petites antennes seront également menées au cours de l'année 2017 sur les réseaux des opérateurs Bouygues Telecom et SFR dans d'autres municipalités. Ces expérimentations viendront préciser la caractérisation de ce type de déploiement en termes de performance et de niveau d'exposition aux ondes, avec différentes configurations de mobilier urbain, de technologies et de bandes de fréquences utilisées. Ce rapport constitue donc un premier bilan préliminaire. Les résultats complets de l'étude porteront sur les mesures réalisées sur les trois expérimentations.